



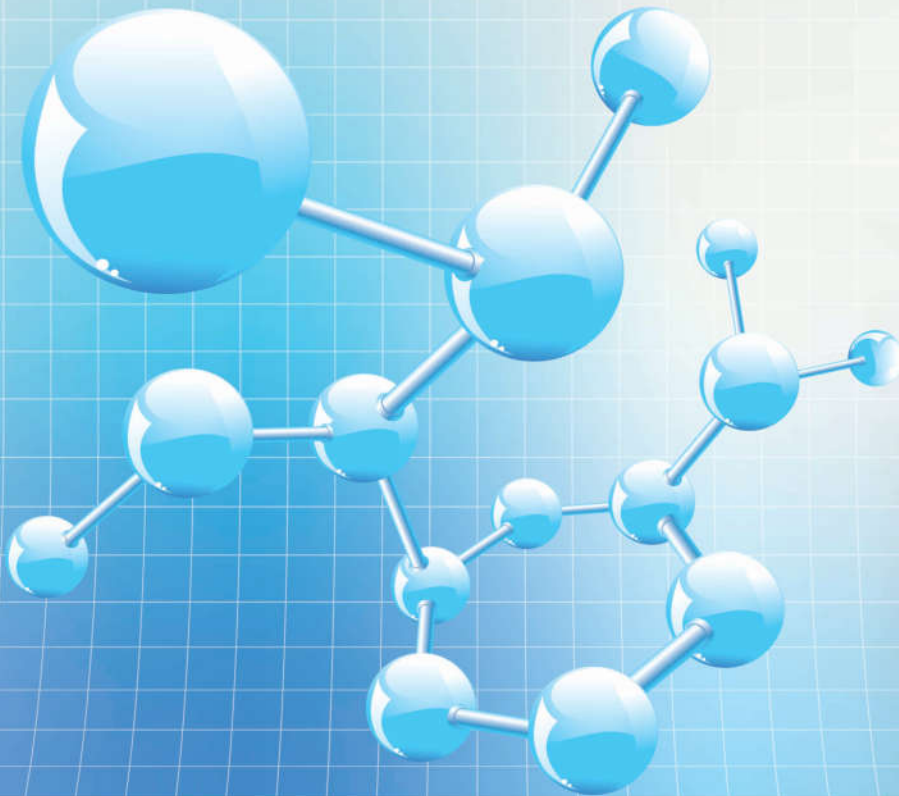
**Tạp chí**

# **NGHIÊN CỨU KHOA HỌC**

**ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

**SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY**

P. ISSN 1859-4190  
E. ISSN 2815-553X



**Số 1 (88)**  
**2025**

**P. ISSN 1859-4190**  
**E. ISSN 2815-553X**

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đình

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

**TS. Nguyễn Thị Kim Nguyễn - Chủ tịch Hội đồng**

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liên

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

**Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman**

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

**Địa chỉ Tòa soạn:**

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/> Email: [tapchikhcn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhcn@saodo.edu.vn).

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.  
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

**LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA**

- Nghiên cứu đánh giá hiệu quả của các mạng nhân tạo học sâu trong nhận dạng các tín hiệu ra-đa 5 Vũ Xuân Tùng
- Ứng dụng thuật toán tìm kiếm hấp dẫn mờ để tối ưu tham số cho mạng CNN trong nhận dạng 10 Nguyễn Thị Quyên  
Nguyễn Thị Phương  
Nguyễn Thị Phương Oanh
- Thiết kế các bộ điều khiển tách kênh cho hệ nhiều vào nhiều ra 17 Nguyễn Thu Hà  
Đinh Thị Lan Anh  
Cao Thành Trung  
Chu Đức Việt  
Nguyễn Đức Quang
- So sánh hiệu suất giữa bộ lọc FIR và LMS trong xử lý nhiễu tín hiệu điện não đồ EEG 24 Nguyễn Xuân Kiên  
Bùi Phương Thảo  
Đỗ Văn Đình

**LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC**

- Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ lái xe đến lượng tiêu thụ nhiên liệu của ô tô sử dụng số sàn bằng phần mềm Carsim 31 Vũ Thành Trung  
Nguyễn Đình Cường  
Lê Đức Thắng  
Ngô Thị Mỹ Bình
- Nghiên cứu các tham số kích thước ảnh hưởng đến ứng suất của tấm phẳng có lỗ khoét hình tròn 37 Nguyễn Đức Hải  
Nguyễn Văn Hình  
Dương Thị Hà  
Nguyễn Thị Liễu
- Ứng dụng phương pháp phần tử biên trên phần mềm SimSolid phân tích dao động của trục chính máy phay CNC 43 Mạc Văn Giang  
Dương Thị Hà  
Đào Văn Kiên  
Mạc Thị Nguyên  
Trịnh Văn Cường
- Nghiên cứu phương pháp ghép nối thép tấm với thép trụ bằng công nghệ hàn điện trở: Tổng quan - Phần 1 49 Huỳnh Nguyệt Khuyến  
Ngô Hữu Mạnh  
Trần Văn An
- Nghiên cứu ổn định chuyển động của xe khách 16 chỗ trong điều kiện gió ngang 55 Đỗ Tiến Quyết  
Phùng Đức Hải Anh  
Nguyễn Lương Căn

**NGÀNH KINH TẾ**

- Nợ và quản lý nợ nước ngoài tại Việt Nam 60 Nguyễn Minh Tuấn  
Phạm Thị Hồng Hoa
- Ứng dụng công nghệ mới vào hoạt động kế toán quản trị tại các công ty may trên địa bàn tỉnh Hải Dương 68 Vũ Thị Lý
- Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến sự hài lòng khi mua sắm tại Aeon mall Hà Đông 74 Nguyễn Thị Ngọc Mai
- Giải pháp hoàn thiện tổ chức công tác kế toán môi trường tại các doanh nghiệp sản xuất trên địa bàn tỉnh Hải Dương 80 Vũ Thị Lý  
Lương Thị Hoa  
Vũ Thị Thanh Thủy

**NGÀNH HÓA HỌC - THỰC PHẨM**

- Tối ưu một số điều kiện để sản xuất cây giống Hoàng đàn (*Cupressus torulosa* D. Don) bằng kỹ thuật nhân giống vô tính tại Vườn Quốc gia Hoàng Liên, Lào Cai 86 Vũ Đức Quyền  
Dương Toàn Thắng  
Dương Quyết Chiến  
Nguyễn Văn Sang

**NGÀNH KHOA HỌC GIÁO DỤC**

- Dạy học theo mô hình 5E để phát triển năng lực giải quyết vấn đề công nghệ cho sinh viên ngành Sư phạm Công nghệ 93 Lê Ngọc Hòa  
Trần Duy Khánh

**LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC**

- Vai trò của giảng viên lý luận chính trị với nhiệm vụ bảo vệ nền tảng tư tưởng của Đảng, đấu tranh phản bác các quan điểm sai trái, thù địch 99 Nguyễn Thị Nhan  
Phan Hoàng Đức
- Phát triển nông nghiệp bền vững vùng Đồng bằng sông Hồng và những yếu tố tác động 105 Vũ Văn Đông  
Vũ Văn Chương  
Vũ Hồng Phong
- Tư tưởng nhân văn của Hồ Chí Minh và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay 111 Đỗ Thị Thùy  
Đặng Thị Dung  
Phạm Thị Mai
- Nâng cao ý thức chính trị của sinh viên Việt Nam trong bối cảnh hiện nay 117 Nguyễn Thị Hiền
- Chuyển đổi số trong giảng dạy các môn Lý luận chính trị ở Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 123 Phạm Xuân Đức

**TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION**

- Research on evaluating the performance of deep learning networks in radar signal recognition 5 Vu Xuan Tung
- Application of fuzzy attractive search algorithm to optimize parameters for CNN network in recognition 10 Nguyen Thi Quyen  
Nguyen Thi Phuong  
Nguyen Thi Phuong Oanh
- Design of decoupling controllers for Multi-Input Multi-Output systems 17 Nguyen Thu Ha  
Dinh Thi Lan Anh  
Cao Thanh Trung  
Chu Duc Viet  
Nguyen Duc Quang
- Performance comparison between FIR and LMS filters in noise processing of EEG signals 24 Nguyen Xuan Kien  
Bui Phuong Thao  
Do Van Dinh

**TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING**

- Study on the impact of driving modes on fuel consumption of manual transmission cars using Carsim software 31 Vu Thanh Trung  
Nguyen Dinh Cuong  
Le Duc Thang  
Ngo Thi My Binh
- Investigation of dimensional parameters affecting the stress in plate with circular cut-out 37 Nguyen Duc Hai  
Nguyen Van Hinh  
Duong Thi Ha  
Nguyen Thi Lieu
- Application of the boundary element method on SimSolid software to analyze the vibrations of the CNC milling machine spindle 43 Mac Van Giang  
Duong Thi Ha  
Dao Van Kien  
Mac Thi Nguyen  
Trinh Van Cuong
- Study on joining of sheet and cylindrical steels by the arc stud welding technology: Review - Part 1 49 Huynh Nguyet Khuyen  
Ngo Huu Manh  
Tran Van An
- Research on the Stability of a 16-Seat Minivan under Crosswind 55 Do Tien Quyet  
Phung Duc Hai Anh  
Nguyen Luong Can

**TITLE FOR ECONOMICS**

- Debt and foreign debt management in Vietnam 60 Nguyen Minh Tuan  
Pham Thi Hong Hoa
- Applying new technology to management accounting activities at  
garment companies in Hai Duong province 68 Vu Thi Ly
- Research factors affecting satisfaction when shopping at Aeon mall  
Ha Dong 74 Nguyen Thi Ngoc Mai
- Solutions to improve environmental accounting work at manufactur-  
ing enterprises in Hai Duong province 80 Vu Thi Ly  
Luong Thi Hoa  
Vu Thi Thanh Thuy

**TITLE FOR CHEMISTRY - FOOD**

- Optimization of some conditions for production of cypress seedlings  
(*Cupressus torulosa* D. Don) using asexual propagation technique  
at Loang Lien National park, Lao Cai 86 Vu Duc Quyen  
Duong Toan Thang  
Duong Quyet Chien  
Nguyen Van Sang

**TITLE FOR EDUCATION SCIENCE**

- Teaching according to the 5E model to develop technological problem-  
solving competences for students majoring in Technology Education 93 Le Ngoc Hoa  
Tran Duy Khanh

**TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE**

- The role of political theory lecturers with the task of protecting the  
Party's ideological foundation and fighting against erroneous and  
hostile viewpoints 99 Nguyen Thi Nhan  
Phan Hoang Duc
- Sustainable agricultural development in the red river and the influ-  
encing factors 105 Vu Van Dong  
Vu Van Chuong  
Vu Hong Phong
- Humanitarian thoughts of Ho Chi Minh and the current application  
by the Communist Party of Vietnam 111 Do Thi Thuy  
Dang Thi Dung  
Pham Thi Mai
- Raising political awareness of Vietnamese students in the current  
context 117 Nguyen Thi Hien
- Digital transformation in teaching Political Theory subjects at Sao  
Do University in the current period 123 Pham Xuan Duc

# Thiết kế các bộ điều khiển tách kênh cho hệ nhiều vào nhiều ra

## Design of decoupling controllers for Multi-Input Multi-Output systems

Nguyễn Thu Hà<sup>1\*</sup>, Đinh Thị Lan Anh<sup>1</sup>,  
Cao Thành Trung<sup>1</sup>, Chu Đức Việt<sup>1</sup>, Nguyễn Đức Quang<sup>2</sup>

\*Tác giả liên hệ: ha.nguyenthu3@hust.edu.vn

<sup>1</sup>Trường Cơ khí (Đại học Bách khoa Hà Nội)

<sup>2</sup>Trường Điện - Điện tử (Đại học Bách khoa Hà Nội)

Ngày nhận bài: 01/12/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 26/02/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/02/2025

### Tóm tắt

Bài báo này nghiên cứu phương pháp điều khiển hệ nhiều đầu vào - nhiều đầu ra (MIMO), với đối tượng nghiên cứu là hệ thống điều khiển mức nước và nhiệt độ trong bình chứa. Hai phương pháp điều khiển được sử dụng là: Điều khiển tách kênh phản hồi Falb-Wolovich và điều khiển học lặp. Phương pháp Falb-Wolovich giúp loại bỏ sự tương tác giữa các kênh đầu vào - đầu ra, đảm bảo hệ thống đạt được trạng thái ổn định với ít sai lệch hơn. Trong khi đó, phương pháp học lặp cho phép hệ thống tự điều chỉnh, cải thiện chất lượng qua nhiều chu kỳ làm việc mà không cần mô hình hóa chính xác hệ thống.

Kết quả mô phỏng cho thấy cả hai phương pháp đều giúp hệ thống hoạt động ổn định, trong đó điều khiển học lặp có thời gian đáp ứng nhanh hơn nhưng có độ quá điều chỉnh cao hơn. So với các phương pháp truyền thống như PID hay điều khiển mờ, hai phương pháp này mang lại hiệu quả cao hơn trong việc duy trì ổn định hệ thống MIMO có tính tương tác mạnh. Bài báo cũng phân tích chi tiết ưu điểm của từng phương pháp, từ đó đưa ra các đề xuất về việc lựa chọn phương pháp phù hợp trong các ứng dụng thực tế.

**Từ khóa:** Hệ MIMO; điều khiển tách kênh; Falb-Wolovich; học lặp; điều khiển quá trình.

### Abstract

This paper studies control schemes for Multi-Input Multi-Output (MIMO) systems, with a focus on regulating water level and temperature in a mixing tank. Falb-Wolovich Decoupling Feedback Control and Iterative Learning Control are deployed on the given plant. The Falb-Wolovich approach effectively eliminates interactions between input and output channels, ensuring system stability with minimal deviation. Meanwhile, Iterative Learning Control allows the system to self-regulate, improving performance over multiple cycles without requiring an exact system model.

Simulation results demonstrate that both schemes stabilize the system effectively. However, Iterative Learning Control provides a faster response time but increasing the overshoot. Compared to traditional methods such as PID or Fuzzy Control, these approaches ensure the system stability in highly interactive MIMO systems. Additionally, the paper also provides a detailed performance analysis of each method, offering recommendations for selecting the most suitable approach in practical applications.

**Keywords:** MIMO systems; decoupling control; Falb-Wolovich; iterative learning control; process control.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều khiển quá trình là một lĩnh vực quan trọng trong tự động hóa công nghiệp, đặc biệt khi đối tượng điều khiển có nhiều đầu vào - nhiều đầu ra (MIMO). Các hệ MIMO có đặc điểm là các biến đầu ra bị ảnh hưởng lẫn nhau, gây khó khăn trong thiết kế bộ điều khiển [1]. Việc phát triển các phương pháp điều khiển nâng cao

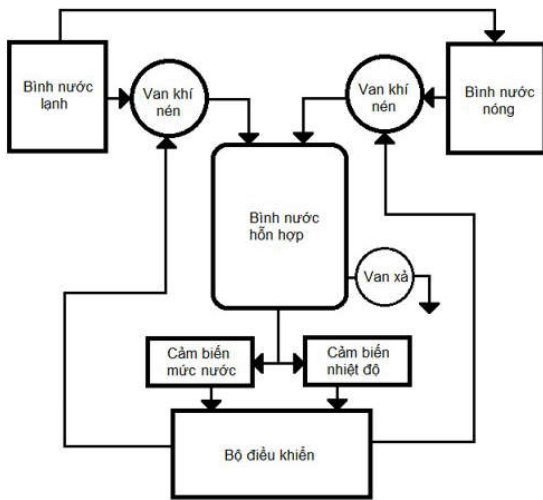
giúp cải thiện chất lượng, tăng tính ổn định và khả năng thích ứng của hệ thống. Nghiên cứu này tập trung vào bài toán điều khiển mức nước và nhiệt độ trong bình chứa - một hệ thống phổ biến trong công nghiệp hóa chất và chế biến thực phẩm. Trước đây, nhiều phương pháp điều khiển khác nhau đã được áp dụng cho hệ thống này, bao gồm điều khiển PID [2], điều khiển mờ [3], điều khiển thích nghi [4] và điều khiển dự báo mô hình [5]. Trong đó, điều khiển PID đơn giản nhưng gặp khó khăn khi hệ thống có tính tương tác mạnh giữa các kênh vào-ra, điều khiển mờ giúp cải thiện chất

Người phản biện: 1. PGS.TS. Bùi Đăng Thành  
2. TS. Nguyễn Trọng Các

lượng trong môi trường phi tuyến, điều khiển thích nghi phù hợp với các hệ thống có đặc tính thay đổi theo thời gian và điều khiển dự báo mô hình mang lại chất lượng cao nhưng yêu cầu tính toán phức tạp. Hai phương pháp điều khiển chính được sử dụng trong nghiên cứu này là điều khiển tách kênh Falb-Wolovich [6] và học lặp [7-9], giúp giảm thiểu sự tương tác giữa các kênh vào-ra và cho phép hệ thống điều chỉnh theo thời gian.

**2. MÔ TẢ HỆ THỐNG**

Hệ thống bình trộn bao gồm (Hình 1):



Hình 1. Cấu tạo hệ thống điều khiển bình trộn

- Nguồn nước nóng và nguồn nước lạnh, mỗi nguồn có một van điều chỉnh lưu lượng.
- Bình chứa chính, nơi nước được trộn và duy trì mức nước cần thiết.
- Van xả bằng tay, kiểm soát lưu lượng nước thoát ra.
- Cảm biến nhiệt độ và cảm biến mức nước, giúp thu thập dữ liệu để điều khiển.

**2.1. Nguyên lý hoạt động**

Hệ thống vận hành bằng cách điều chỉnh lưu lượng nước nóng và lạnh để đạt được nhiệt độ mong muốn, đồng thời duy trì mức nước ổn định. Khi van nước nóng hoặc lạnh mở, nước chảy vào bình, hòa trộn và thay đổi nhiệt độ trong bình. Van xả được điều chỉnh để duy trì mức nước bằng cách điều chỉnh lưu lượng nước thoát ra. Các cảm biến đo nhiệt độ và mức nước trong bình, cung cấp dữ liệu cho bộ điều khiển nhằm thực hiện điều chỉnh thích hợp.

**2.2. Mô hình toán học**

**2.2.1. Các biến quá trình**

Biến điều khiển:

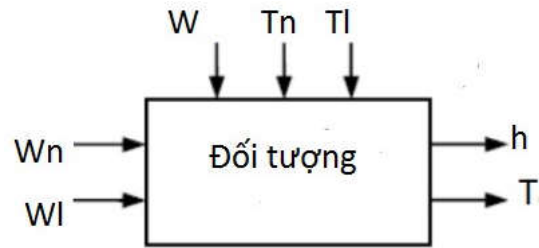
- Lưu lượng dòng nước nóng:  $\omega_n$  (m<sup>3</sup>/s).
- Lưu lượng dòng nước lạnh:  $\omega_l$  (m<sup>3</sup>/s).

Biến cần điều khiển:

- Nhiệt độ trong bình: T (°C).
- Mức nước trong bình: h (m).

Nhiều quá trình:

- Nhiệt độ nguồn nước nóng: T<sub>n</sub> (°C).
- Nhiệt độ nguồn nước lạnh: T<sub>l</sub> (°C).
- Lưu lượng nước chảy ra:  $\omega$  (m<sup>3</sup>/s).



Hình 2. Các biến quá trình

**2.2.2. Xây dựng phương trình mô hình**

+ Phương trình cân bằng khối lượng:

Trong cùng một khoảng thời gian, khối lượng nước trong bình bằng khối lượng nước được cấp vào trừ đi khối lượng nước chảy ra [1]:

$$m = m_n + m_l - m_{ra}$$

$$\rho \cdot A \cdot \frac{dh}{dt} = \rho \cdot \omega_n + \rho \cdot \omega_l - \rho \cdot \omega$$

Trong đó:

- $\rho$  là khối lượng riêng của nước (kg/m<sup>3</sup>);
- A là diện tích đáy của bình nước (m<sup>2</sup>);
- m là khối lượng nước trong bình (kg);
- $m_n$  là khối lượng nước mà nguồn nóng cấp (kg);
- $m_l$  là khối lượng nước mà nguồn lạnh cấp (kg);
- $m_{ra}$  là khối lượng nước thoát ra (kg).

Từ phương trình trên, suy ra:

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = \omega_n + \omega_l - \omega \tag{1}$$

+ Phương trình cân bằng năng lượng:

Trong cùng một khoảng thời gian, năng lượng của bình bằng tổng năng lượng của các nguồn cấp trừ đi năng lượng bị thoát ra khỏi bình [1]:

$$U = U_v - U_r$$

$$\frac{d(C \cdot \rho \cdot A \cdot h \cdot T)}{dt} = C \cdot \rho \cdot \omega_n \cdot T_n + C \cdot \rho \cdot \omega_l \cdot T_l - C \cdot \rho \cdot \omega \cdot T$$

$$\Rightarrow \frac{d(A \cdot h \cdot T)}{dt} = \omega_n \cdot T_n + \omega_l \cdot T_l - \omega \cdot T$$

Trong đó:

C là nhiệt dung riêng của nước (J/Kg.K).

$$A.T \cdot \frac{dh}{dt} + A.h \cdot \frac{dT}{dt} = \omega_n \cdot T_n + \omega_l \cdot T_l - \omega \cdot T$$

Suy ra:

$$T \cdot (\omega_n + \omega_l - \omega) + A.h \cdot \frac{dT}{dt} = \omega_n \cdot T_n + \omega_l \cdot T_l - \omega \cdot T$$

$$\Rightarrow A.h \cdot \frac{dT}{dt} = \omega_n \cdot (T_n - T) + \omega_l \cdot (T_l - T)$$

Như vậy, ta thu được 2 phương trình mô hình:

$$\begin{cases} A \cdot \frac{dh}{dt} = \omega_n + \omega_l - \omega \\ A.h \cdot \frac{dT}{dt} = \omega_n(T_n - T) + \omega_l(T_l - T) \end{cases}$$

### 2.2.3. Xây dựng ma trận không gian trạng thái

Từ mục 2.2.2 ta có 2 phương trình của mô hình:

$$\begin{cases} A \cdot \frac{dh}{dt} = \omega_n + \omega_l - \omega \\ A.h \cdot \frac{dT}{dt} = \omega_n(T_n - T) + \omega_l(T_l - T) \end{cases}$$

Phương trình trên cho thấy hệ thống có tính phi tuyến, do đó cần được tuyến tính hóa quanh điểm làm việc để thuận tiện trong thiết kế bộ điều khiển.

Phương trình (1) tương đương với:

$$\frac{dh}{dt} = f(\omega_n, \omega_l) = \frac{1}{A} \cdot (\omega_n + \omega_l - \omega)$$

Tại điểm làm việc:

$$f(\underline{\omega}_n, \underline{\omega}_l) = \frac{1}{A} \cdot (\underline{\omega}_n + \underline{\omega}_l - \underline{\omega}) = 0$$

$$\rightarrow \underline{\omega}_n + \underline{\omega}_l = \underline{\omega}$$

Do phương trình (1) tuyến tính nên:

$$\frac{d\Delta h}{dt} = \frac{1}{A} \cdot (\Delta\omega_n + \Delta\omega_l - \Delta\omega)$$

Phương trình (2) tương đương với:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= g(\omega_n, \omega_l, h, T) \\ &= \frac{\omega_n}{A.h} \cdot (T_n - T) + \frac{\omega_l}{A.h} \cdot (T_l - T) \end{aligned}$$

Tại điểm làm việc:

$$g(\underline{\omega}_n, \underline{\omega}_l, \underline{h}, \underline{T}) = 0$$

$$\rightarrow \underline{\omega}_n \cdot T_n + \underline{\omega}_l \cdot T_l = \omega \cdot T$$

Sử dụng khai triển Taylor ta thu được:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T}{dt} &= \frac{T_n - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_n + \frac{T_l - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_l - \frac{\omega}{A.h} \cdot \Delta T \\ &\quad + \frac{\omega_n}{A.h} \Delta T_n + \frac{\omega_l}{A.h} \Delta T_l \end{aligned}$$

Như vậy, ta thu được hệ phương trình:

$$(2) \quad \begin{cases} \frac{d\Delta h}{dt} = \frac{1}{A} \cdot (\Delta\omega_n + \Delta\omega_l - \Delta\omega) \\ \frac{d\Delta T}{dt} = \frac{T_n - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_n + \frac{T_l - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_l \\ \quad - \frac{\omega}{A.h} \Delta T + \frac{\omega_n}{A.h} \Delta T_n + \frac{\omega_l}{A.h} \Delta T_l \end{cases} \quad (3)$$

Do giả thiết  $T_n, T_l, \omega$  không đổi trong suốt thời gian làm việc nên ta có  $\Delta\omega = \Delta T_n = \Delta T_l = 0$ .

Khi đó phương trình (3) tương đương:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta h}{dt} = \frac{1}{A} (\Delta\omega_n + \Delta\omega_l) \\ \frac{d\Delta T}{dt} = \frac{T_n - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_n + \frac{T_l - T}{A.h} \cdot \Delta\omega_l - \frac{\omega}{A.h} \Delta T \end{cases}$$

Đặt  $\underline{x} = \begin{bmatrix} \Delta h \\ \Delta T \end{bmatrix}$ ,  $\underline{u} = \begin{bmatrix} \Delta\omega_n \\ \Delta\omega_l \end{bmatrix}$ ,  $\underline{y} = \underline{x}$ , thì ta có phương trình trạng thái.

$$\begin{cases} \frac{d\underline{x}}{dt} = A \cdot \underline{x} + B \cdot \underline{u} \\ \underline{y} = C \cdot \underline{x} \end{cases} \quad (4)$$

Với:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\omega}{A.h} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{A} & \frac{1}{A} \\ \frac{T_n - T}{A.h} & \frac{T_l - T}{A.h} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

### 3.1. Thiết kế bộ điều khiển tách kênh phản hồi Falb-Wolovich

Bộ điều khiển tách kênh phản hồi Falb-Wolovich (Falb-Wolovich Decoupling Controller) là một phương pháp điều khiển sử dụng ma trận bù để tách kênh hệ thống nhiều đầu vào - nhiều đầu ra (MIMO). Điều này giúp biến đổi hệ thống về dạng đơn giản hơn, sao cho mỗi kênh đầu vào chỉ ảnh hưởng đến một kênh đầu ra duy nhất.

Thuật toán tìm các bộ điều khiển R và M cho bài toán tách kênh sẽ như sau [6]:

Tại điểm làm việc ta có:

$$A = 324 \text{ cm}^2 = 0.0324 \text{ m}^2; T_n = 70^\circ\text{C}, T_l = 20^\circ\text{C};$$

$\omega_n = 2.10^{-5}(\text{m}^3/\text{s}); \omega_1 = 2.10^{-5}(\text{m}^3/\text{s});$   
 $w = 4.10^{-5}(\text{m}^3/\text{s}); h = 0.1 \text{ m}; T = 45^\circ\text{C}.$   
 Theo kết quả từ mục (2), từ đó suy ra:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -0.01235 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 31 & 31 \\ 7716.05 & -7716.05 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Xác định bậc tương đối  $r_1, r_2$  của hệ:

$$R = E^{-1}.F = \begin{pmatrix} 0.0324 & 0.0002 \\ 0.0324 & -0.0002 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \underline{c}_1^T.B = (1 \ 0). \begin{pmatrix} 31 & 31 \\ 7716.05 & -7716.05 \end{pmatrix} \neq \underline{0}^T$$

$$\rightarrow r_1 = 1$$

$$\underline{c}_2^T = (0 \ 1)$$

$$\rightarrow \underline{c}_2^T.B = (0 \ 1). \begin{pmatrix} 31 & 31 \\ 7716.05 & -7716.05 \end{pmatrix} \neq \underline{0}^T$$

$$\rightarrow r_2 = 1$$

Tiếp theo:

$$E = \begin{pmatrix} \underline{c}_1^T.B \\ \underline{c}_2^T.B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 31 & 31 \\ 7716.05 & -7716.05 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow E^{-1} = \begin{pmatrix} 0.0162 & 0.0001 \\ 0.0162 & 0.0001 \end{pmatrix}$$

Chọn  $b_1 = a_{10} = 2; b_2 = a_{20} = 3.$

Khi đó:

$$L = \begin{pmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$$

$$F = \begin{pmatrix} a_{10}\underline{c}_1^T + \underline{c}_1^T.A \\ a_{20}\underline{c}_2^T + \underline{c}_2^T.A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Suy ra các bộ điều khiển M, R cần tìm là:

$$M = E^{-1}.L = \begin{pmatrix} 0.0324 & 0.0002 \\ 0.0324 & -0.0002 \end{pmatrix}$$

$$R = E^{-1}.F = \begin{pmatrix} 0.0324 & 0.0002 \\ 0.0324 & -0.0002 \end{pmatrix}$$

### 3.2. Thiết kế bộ điều khiển học lặp

#### 3.2.1. Nguyên lý và điều khiển

Bộ điều khiển học lặp được thiết kế dựa trên nguyên lý sử dụng thông tin từ các lần lặp trước để cải thiện chất lượng điều khiển trong các chu kỳ tiếp theo [7].

- *Xác định công thức học lặp:*

$$\underline{u}_{k+1}(\tau) = u_k(\tau) + f_l(e_k(\tau), \kappa)$$

Với:

$\tau \in [0, T], k = 0, 1, \dots, N$  và  $f_l(e_k(\tau), \kappa)$  là hàm học, ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển.

- *Thuật toán điều khiển học lặp:*

+ Khởi tạo:

Chọn hàm học  $f_l(e_k(\tau), \kappa)$  và tham số hội tụ  $\kappa$  cho nó. Xác định bước cập nhật dữ liệu  $T_s$ .

Tính số bước điều khiển trong một chu kỳ:  $N=T/T_s$ . Gán giá trị ban đầu:  $u_0(i) = r(i); e_0(i) = 0$  với  $i = 0, 1, \dots, N-1$ .

+ Vòng lặp điều khiển (với mỗi bước  $i = 0, 1, \dots, N-1$ ):

Áp dụng điều khiển  $u_k(i)$  vào hệ thống trong khoảng thời gian  $T_s$ .

Đo đầu ra  $y_k(i)$  và tính sai số:  $e_k(i) = r(i) - y_k(i)$ .

Cập nhật tín hiệu điều khiển theo công thức học lặp:  $u_{k+1}(i) \leftarrow u_k(i) + f_l(e_k(\tau), \kappa)$ .

Kết thúc vòng lặp khi điều kiện hội tụ đạt được, tức là sai số điều khiển  $e_k(i)$  đạt ngưỡng nhỏ hơn giá trị cho phép.

#### (5) 3.2.2. Áp dụng vào mô hình

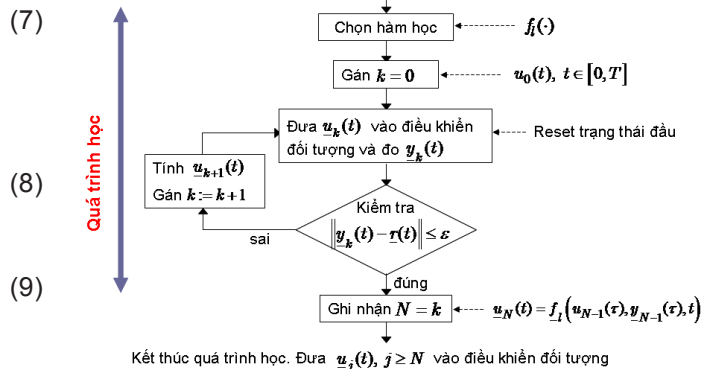
Bộ điều khiển học lặp được áp dụng vào hệ thống với hàm học:

$$u_{k+1}(i) = K_1 u_k(i) + K_2 e_k(i+1)$$

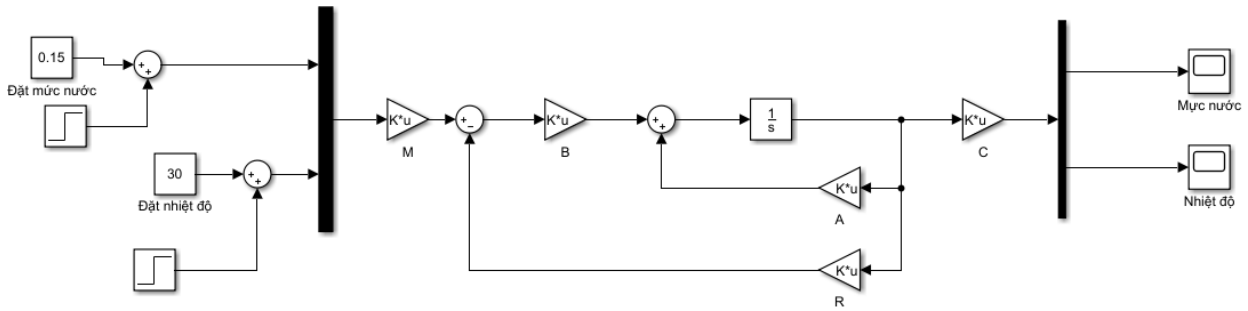
Với:

$$K_1 = 2, K_2 = 0.05.$$

(6) Việc cài đặt bộ điều khiển học lặp được thực hiện thông qua mã nguồn chi tiết trong Phụ lục (APPENDIX).



Hình 3. Các bước xây dựng bộ điều khiển học lặp



Hình 4. Mô hình trạng thái với phương pháp Falb-Wolovich

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

4.1. Phương pháp Falb-Wolovich

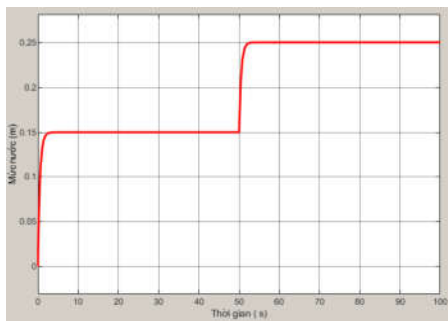
Sử dụng bộ điều khiển R,M vào sơ đồ mô hình trạng thái Hình 4.

Tại  $t = 0$  s ta đặt giá trị của mức nước là 0,15 m và nhiệt độ là 30°C.

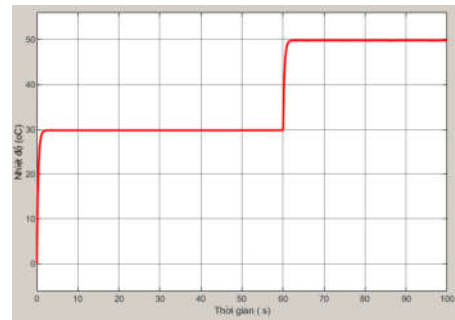
Tại  $t = 50$  s ta tăng giá trị của mức nước lên 0,25 m, giữ nguyên nhiệt độ.

Tại  $t = 60$  s ta tăng giá trị của nhiệt độ lên 50°C và không thay đổi mức nước.

Từ đó ta thu được đường đặc tính của mức nước và nhiệt độ thể hiện ở Hình 5 và Hình 6:



Hình 5. Đáp ứng mức nước khi thiết kế bằng phương pháp Falb-Wolovich



Hình 6. Đáp ứng nhiệt độ khi thiết kế bằng phương pháp Falb-Wolovich

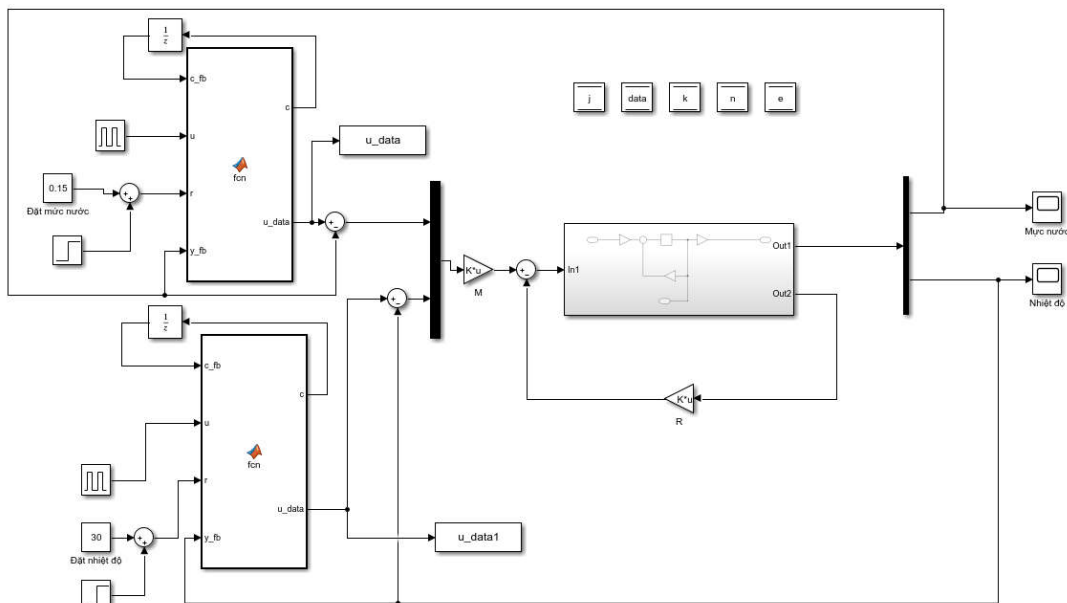
4.2. Phương pháp học lặp

Cài đặt bộ điều khiển học lặp vào mô hình điều khiển đối tượng giống với đối tượng dùng để thiết kế phương pháp Falb-Wolovich và thực hiện theo sơ đồ Hình 7.

Tại  $t = 0$  s ta đặt giá trị của mức nước là 0,15 m và nhiệt độ là 30°C.

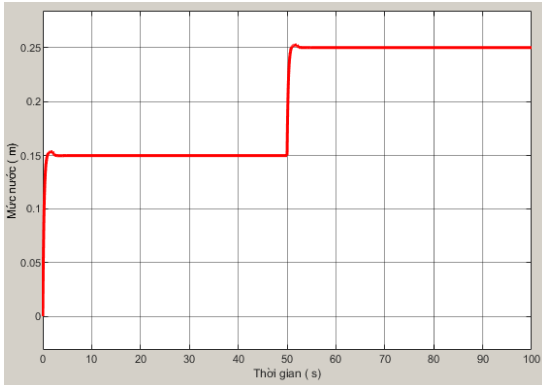
Tại  $t = 50$  s ta tăng giá trị của mức nước lên 0,25 m, giữ nguyên nhiệt độ.

Tại  $t = 60$  s ta tăng giá trị của nhiệt độ lên 50°C và không thay đổi mức nước.

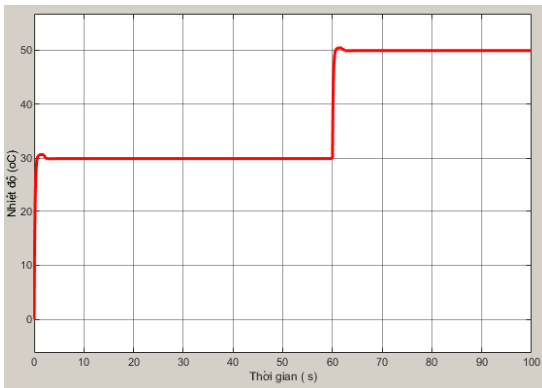


Hình 7. Mô hình với phương pháp học lặp

Từ đó ta thu được đường đặc tính của mức nước và nhiệt độ thể hiện ở Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Đáp ứng mức nước khi thiết kế bằng phương pháp học lặp



Hình 9. Đáp ứng nhiệt độ khi thiết kế bằng phương pháp học lặp

Kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm MATLAB cho thấy phương pháp Falb-Wolovich mang lại độ ổn định tốt hơn do loại bỏ sự tương tác giữa các kênh điều khiển, giúp hệ thống đạt giá trị mong muốn với ít dao động Hình 5 và Hình 6. Tuy nhiên, thời gian quá độ dài hơn so với điều khiển học lặp. Ngược lại, phương pháp học lặp giúp hệ thống đạt trạng thái mong muốn nhanh hơn nhưng bị dao động mạnh trong giai đoạn đầu Hình 8 và Hình 9. Khi có nhiễu tác động, phương pháp học lặp có khả năng thích nghi tốt hơn, giúp hệ thống nhanh chóng trở về trạng thái ổn định mà không cần điều chỉnh lại thông số điều khiển.

Bảng dưới đây trình bày các chỉ tiêu chất lượng của hai phương pháp điều khiển:

Bảng so sánh các chỉ tiêu chất lượng của hai phương pháp

Tiêu chí	Falb-Wolovich	Học lặp
Thời gian quá độ	Dài hơn	Ngắn hơn
Độ quá điều chỉnh	Thấp	Cao
Khả năng thích nghi	Kém	Cao
Độ ổn định hệ thống	Cao	Trung bình
Yêu cầu tính toán	Cao	Cao

Về mặt triển khai thực tế, phương pháp Falb-Wolovich phù hợp với các hệ thống có mô hình toán học xác định trước và ít thay đổi, trong khi phương pháp học lặp phù hợp hơn với các hệ thống hoạt động theo mẻ, có đặc tính phi tuyến hoặc thường xuyên bị thay đổi tham số. Một nhược điểm của phương pháp học lặp là yêu cầu lưu trữ dữ liệu và tính toán lặp lại qua nhiều chu kỳ, điều này có thể ảnh hưởng đến chất lượng khi thiết kế phần cứng thực tế.

### 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu và đánh giá hai phương pháp điều khiển Falb-Wolovich và học lặp cho hệ MIMO với ứng dụng cụ thể là điều khiển mức nước và nhiệt độ trong bình chứa. Kết quả mô phỏng cho thấy mỗi phương pháp đều có ưu và nhược điểm riêng. Phương pháp Falb-Wolovich mang lại độ chính xác cao và giảm thiểu sự tương tác giữa các kênh điều khiển, tuy nhiên lại có khả năng thích nghi kém hơn khi điều kiện hệ thống thay đổi. Ngược lại, phương pháp học lặp cho thấy khả năng thích nghi tốt hơn và thời gian đáp ứng nhanh hơn nhưng lại có độ quá điều chỉnh lớn hơn.

Tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể của từng hệ thống, có thể lựa chọn một trong hai phương pháp hoặc kết hợp chúng để đạt hiệu suất điều khiển tối ưu. Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng bằng cách tích hợp các phương pháp điều khiển thông minh, chẳng hạn như điều khiển thích nghi dựa trên trí tuệ nhân tạo hoặc điều khiển dự báo mô hình để cải thiện hơn nữa chất lượng hệ thống.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Minh Sơn (2005), *Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006), *Advanced PID Control*, ISA Transactions, Vol. 45, No. 2, pp. 123-135.
- [3]. Zadeh, L. A. (1973), *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 3, No. 1, pp. 28-44.
- [4]. Narendra, K. S., & Annaswamy, A. M. (1989), *Stable Adaptive Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [5]. Camacho, E. F., & Bordons, C. (2007), *Model Predictive Control*, Springer-Verlag, London, pp. 15-40.
- [6]. Nguyễn Doãn Phước (2014), *Lý thuyết điều khiển tuyến tính*, NXB Bách khoa.
- [7]. Nguyễn Thu Hà, Nguyễn Hoài Nam, Nguyễn Doãn Phước (2021), *Điều khiển học lặp*, NXB Bách khoa.

- [8]. Trung Thanh Cao, Phuoc Doan Nguyen, Nam Hoai Nguyen, Ha Nguyen Thu (2022), *An indirect iterative learning controller for nonlinear systems with mismatched certainties and matched disturbances*, International Journal of Systems Science. Vol. 53, Issue 16, pp.3375-3389, <https://doi.org/10.1080/00207721.2022.2083259>
- [9]. T. T. Cao, C. T. Van, H. P. Van, M. Q. Nguyen and A. Hoang, (2024), A Proposal Of An Iterative Learning Control Method For Simulating A Flyback Converter Using PSCAD, *2024 9<sup>th</sup> International Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)*, Danang, Vietnam, pp. 248-252, doi: 10.1109/ATiGB63471.2024.10717732.

## PHỤ LỤC

```
function [c,u_data]=fcn(c_fb,u,r,y_fb)
c=u;
t=c_fb;y_1=0;
global k n j data e
if t~u
    k=k+1;
```

```
    if k==1
        n=n+1;
    end
end
if rem(k,120)==1 && k>120
    n=n+1;
end
if n==1
    j=k;
elseif n>1
    j=k-(n-1)*120;
end
if n==1
    if j==1
        e(j)=r-y_1
    else
        e(j)=r-y_fb;
    end
    data(j)=2*r+0.05*e(j);
elseif n>=2
    e(j)=r-y_fb;
    data(j)=2*data(j)+0.05*e(j);
end
u_data=data(j);
```

## AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thu Ha<sup>1\*</sup>, Dinh Thi Lan Anh<sup>1</sup>,  
Cao Thanh Trung<sup>1</sup>, Chu Duc Viet<sup>1</sup>,  
Nguyen Duc Quang<sup>2</sup>**

\*Corresponding Author: [ha.nguyenthu3@hust.edu.vn](mailto:ha.nguyenthu3@hust.edu.vn)

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, (Hanoi University of Science and Technology);

<sup>2</sup>School of Electrical and Electronic Engineering, (Hanoi University of Science and Technology).

# THẺ LỆ GỬI BÀI

## TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (\*.doc \*.docx và \*.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03-05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (\*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
  - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
  - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỳ yếu, số, trang.
  - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ [http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format\\_paper](http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper)  
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

### THÔNG TIN LIÊN HỆ:

**Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ**

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: [tapchikhcn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhcn@saodo.edu.vn)

**Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 1 (88) 2025**



**BỘ CÔNG THƯƠNG**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ**

**Địa chỉ:**

- **Số 1:** Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, phường Thái Học, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** [info@saodo.edu.vn](mailto:info@saodo.edu.vn)

P. ISSN 1859-4190  
E. ISSN 2815-553X

**Số 1 (88)**  
**2025**



**Địa chỉ Tòa soạn:**

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>/Email: [tapchikhcn@saodo.edu.vn](mailto:tapchikhcn@saodo.edu.vn).

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.  
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.